

Informe de análisis de composición de polvo domiciliario en hogares de tres distintas localidades de la comuna de Andacollo.

Autor:

Luis Pouchucq Marinkovic

Dr. en Ciencias Biológicas

Investigador Programa de Transferencia Tecnológica

en Biotecnología Vegetal y Ambiental Aplicada (PBVAA)

Académico del Departamento de Biotecnología

Universidad Tecnológica Metropolitana (UTEM)

Santiago- Chile.

Tabla de contenidos

Resumen ejecutivo y contextualización.

Andacollo es una comuna históricamente minera que en las últimas décadas ha visto una abrupta transformación en su vivir cotidiano debido a la llegada de empresas de la mega minería a su territorio. Estas acciones dadas en los años noventas, introdujeron importantes cambios en las relaciones de trabajo, en las relaciones sociales y en la forma que tienen los andacollinos de relacionarse con los recursos que entrega la naturaleza y el Estado (Pouchucq y cols. 2017). Además, la llegada de la gran minería, dispuesta a escasas centenas de metros del centro de la ciudad, produjo alarmantes aumentos en la cantidad de material particulado en suspensión y en concomitancia, en el aumento de patologías relacionadas.

Hacia el año 2009, la comuna de Andacollo fue decretada zona saturada de contaminación por material particulado PM 10. Luego en 2015 fue lanzado el plan de descontaminación de Andacollo (PDA) el cual tiene vigencia hasta fines de 2019. A pesar de que algunas autoridades locales catalogan el plan de descontaminación de Andacollo como una política pública exitosa, muchas voces antagónicas surgen desde Andacollo mismo. El PDA goza de una mala percepción por parte de la población (Paredes y Lara 2018), lo cual devela falencias en su diseño e implementación .

En una investigación anterior logramos determinar el comportamiento del material particulado PM10 en Andacollo centro, encontrando que la contaminación se distribuye en dos máximos dentro del día, uno en la mañana y otro durante el atardecer. Del mismo modo, establecimos que el polvo generado por las tronaduras llegaba al centro de la ciudad entre seis a ocho horas después del evento (Pouchucq 2018). En problemáticas como las de Andacollo, resulta fundamental conocer el comportamiento de los agentes contaminantes al momento de proponer medidas y políticas de mitigación. Dado lo anterior y con los antecedentes recabados, se planteó la siguiente pregunta de investigación: ¿es posible encontrar determinantes en la composición química del polvo que se deposita dentro de los hogares andacollinos, que nos indiquen si fue originado en las tronaduras de las mega-faenas mineras?

Para responder a esta pregunta utilizamos tres métodos espectroscópicos: Fluresencia de Rayos X, Absorción Atómica y Espectroscopía vibracional (FT-IR). Los resultados de dichos análisis indican la presencia de cantidades alarmantes de cobre en el polvo domiciliario de hogares de la cuidad de Andacollo, sustancialmnte mayores que las localidades de El Toro y Chepiquilla. Además, se determinó la presencia de nitritos también en polvo domicilario de hogares de la localidad de Andacollo. Es posible que este nitrito provenga de los residuos de los explosivos utilizados en las tronaduras de las faenas mineras aledañas, sirviendo como trazador del origen de este polvo.

En conclusión, se ha encontrado que probablemente el polvo depositado en los hogares de Andacollo proviene de las tronaduras que se realizan en las faenas mineras aledañas, el cual es movido por el viento sutilmente desde la faena hacia la ciudad de Andacollo, tardando entre seis y ocho horas en llegar (Pouchucq 2018). Estos resultados concuerdan y dan cuenta de la mala percepción que tienen los y las actores sociales de Andacollo respecto del diseño y aplicación del plan de descontaminación PDA (Paredes y Lara 2018). Con esto se hace urgente realizar nuevos estudios más profundos y más extensos que permitan determinar con precisión los grados de exposición y riesgos asociados a las sustancias aquí halladas, así mismo como las sustancias que no hemos podido detectar.

Objetivo del estudio

Toma de muestras de polvo domiciliario al interior de hogares ubicados dentro de la comuna de Andacollo, con la finalidad de determinar la presencia de metales, metales pesados, metaloides y compuestos nitrogenados.

Metodología para llevar a cabo el análsis

Las muestras fueron tomadas el día 6 de octubre de 2018 entre las 10 y las 14 horas. Se tomaron muestras de tres sectores distintos de la comuna, cuidando que estos sectores se ubicaran a distintas direcciones desde donde se encuentra la faena minera, tal como se muestra en la Figura 1. Se tomó muestras de tres hogares distintos en cada sector, en total suman nueve. Los sectores seleccionados correspondieron a: Andacollo centro; Sector de El Toro; Sector de Chepiquilla.

Las muestras fueron tomadas utilizando pinceles limpios y tubos plásticos limpios y estériles. Se tomaron las coordenadas para geoposicionar cada muestra mediante uso de un GPS satelital según se muestra en la Figura 2 y la Tabla 1. Al momento de la toma de muestra se constató parámetros importantes como por ejemplo el tipo de material de construcción del suelo del hogar, el tipo de material del que esta hecha la calle exterior al hogar, la cantidad de tráfico de vehículos y si alguna persona del hogar muestreado trabaja en la minería artesanal.



Figura 1. Mapa del sector estudiado. Se muestra la posición de los sitios de muestreo (Andacollo, El toro y Chepiquilla) respecto a la faena minera en la comuna de Andacollo.



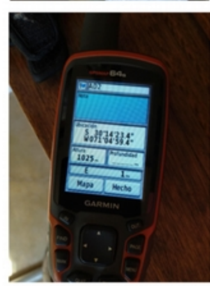




Figura 2. Imágenes de la toma de muestras.

Tabla 1. Georeferenciación de los sitios de muestreo.						
Muestra	**UBICACION**	**Geoposicionamiento**	**ALTITUD (msnm)**	**Tipo de suelo**	**Tipo de calle**	**Mineria artesanal**
TO1	EL TORO	S30°15´12.7´´ W071°06´43.8´´	1091	Tierra compactada	Tierra poco tráfico	si
TO2	EL TORO	S30°15´08.8´´ W071°06´39.2´´	1099	Loza cemento	Tierra poco tráfico	no
TO3	EL TORO	S30°15´08.0´´ W071°06´41.4´´	1098	Loza cemento	Tierra poco tráfico	no
CH1	CHEPIQUILLA	S30°15´21.3´´ W071°04´58.2´´	1063	Loza - cerámica	Tierra tráfico medio	si
CH2	CHEPIQUILLA	S30°15´22.6´´ W071°04´59.0´´	1071	Loza - cerámica	Tierra tráfico medio	no
CH3	CHEPIQUILLA	S30°15´25.0´´ W071°04´57.4´´	1069	Loza - cerámica	Tierra tráfico medio	no
AD1	ANDACOLLO	S30°14´22.3´´ W071°04´59.9´´	1023	Loza - cerámica	Tierra poco tráfico	no
AD2	ANDACOLLO	S30°14´23.4´´ W071°04´59.4´´	1025	Parquet - madera	Tierra poco tráfico	no
AD3	ANDACOLLO	S30°14´03.0´´ W071°04´56.5´´	1037	Loza - cerámica	cemento poco tráfico	no

Las muestras fueron guardadas herméticamente a 4°C hasta ser analizadas para determinar la concentración de metales mediante métodos de absorción atómica (AA), fluorescencia de Rayos X (FRx) y espectroscopia vibracional FT-IR.

Análisis elemental por fluorescencia de rayos x

Para un análisis cualitativo de los metales presentes las muestras se utilizó la metodología de Florescencia de Rayos x (FRx) que permite la identificación simultánea de distintos elementos metálicos. Para esto se dispuso las muestras entre dos placas plásticas que permitiesen homogeneidad en la disposición del material. Los espectros fueron tomados en una unidad de análisis que consta de un generador de rayos x AMPTEK Mini-X y equipo detector de rayos x AMPTEK XR-100SDD, calibrado a entre 7,5 y 26,4 KeV como se muestra en la figura 3. Se tomó una muestra blanco utilizando solo las placas plásticas. Este espectro blanco fue sustraído a cada espectro resultante de las muestras de modo de obtener solo el aporte del material de la muestra.

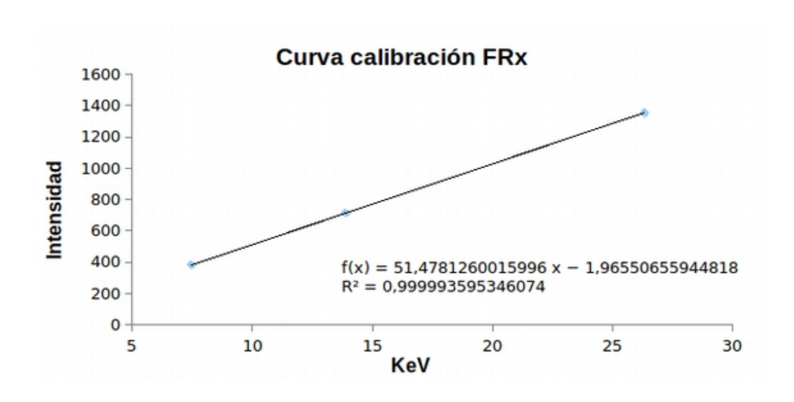
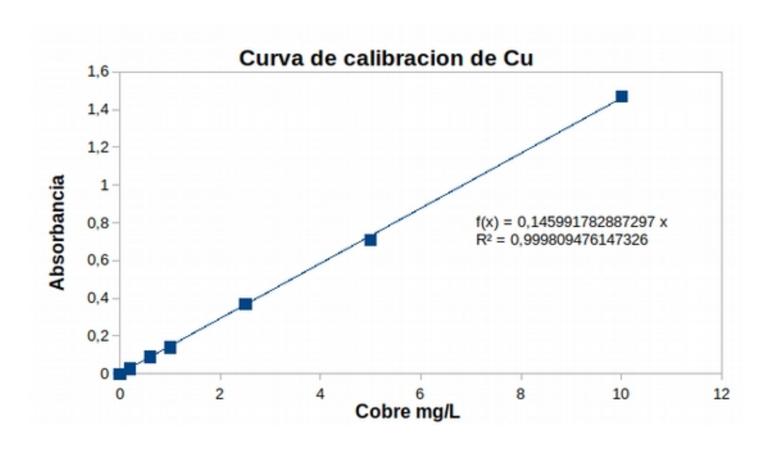
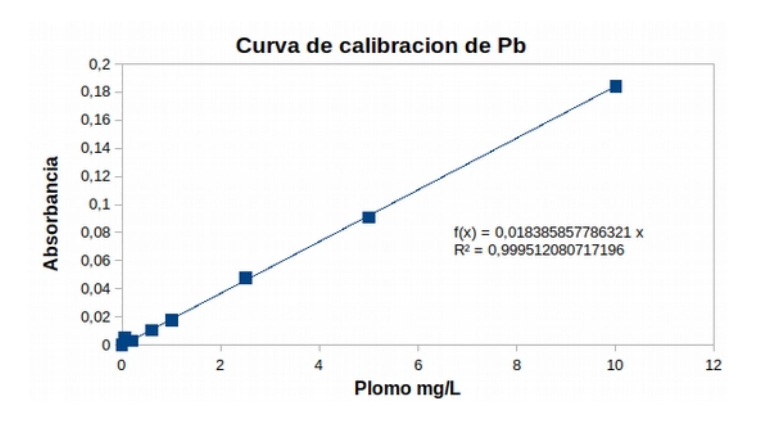


Figura 3. Curva de calibración del equipo FRx.

Análisis elemental por absorción atómica

Para la cuantificación del cobre presente en las muestras, se masó 0,5 gramos de cada una y se depositó dentro de tubos plásticos. A estos se le agregó ácido nítrico al 65% (1ml) y se los dejó reposar durante una hora a temperatura ambiente. Luego se le agregó 10 ml de agua ultra pura (NanoPure Infinity™ Branstead) a cada muestra, para luego ser ultra filtradas mediante filtros de jeringa de 0,22 micrones de tamaño de poro. La solución filtrada fue diluida 10 veces en agua ultra pura para ser analizadas directamente en un equipo de Absorción Atómica PerkinElmer AAnalyst 700, utilizando lámparas de Cobre, Plomo y Cadmio, con una mezcla de aire-acetileno. Para las curvas de calibración mostradas en la Figura 4, se utilizaron estándares Titrisol (Merk).





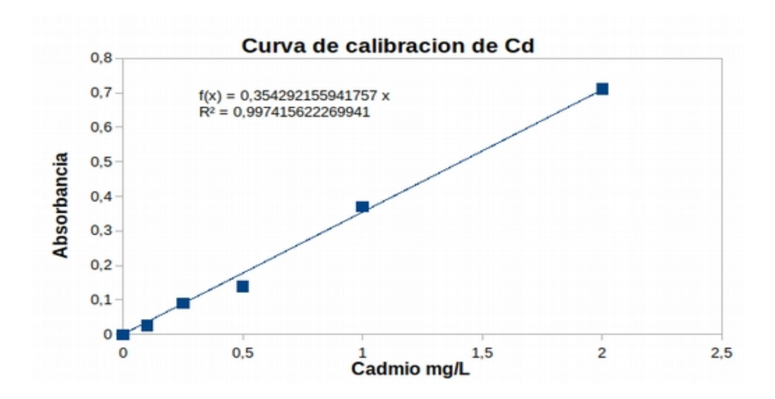


Figura 4. Curvas de calibración para el cobre, plomo y cadmio tomadas en equipo de absorción atómica PerkinElmer AAnalyst 700 con mezcla de aire - acetileno.

Análisis de espectroscopía vibracional (FT-IR)

El polvo domiciliario de las muestras fue separado por tamaño utilizando una criba metálica de mesh = 0,2 mm. El polvo fino obtenido fue dispersado en KBr en mortero de ágata y posteriormente secado en estufa a 60°C por tres horas. Se confeccionaron pastillas para ser analizadas directamente en un equipo FT-IR JASCO 6800.

Resultados

Resultados de los análisis de fluorescencia de rayos x

A continuación se muestran gráficamente los resultados obtenidos desde los análisis de FRx mediante el método propuesto. Realizando una sustracción de las señales del blanco es posible observar señales que corresponden íntegramente a las muestras. En la figura 5 se muestran los espectros de FRx de las muestras Chepiquilla, Andacollo, El Toro y material de relave de la minería artesanal como referencia. Es posible observar que en todos los espectros aparecen tres bandas: 6.31, 6.94 y 7.92 keV. Estas señales corresponden al Kα y Kβ del hierro (Fe) y al Kα del cobre (Cu) respectivamente.

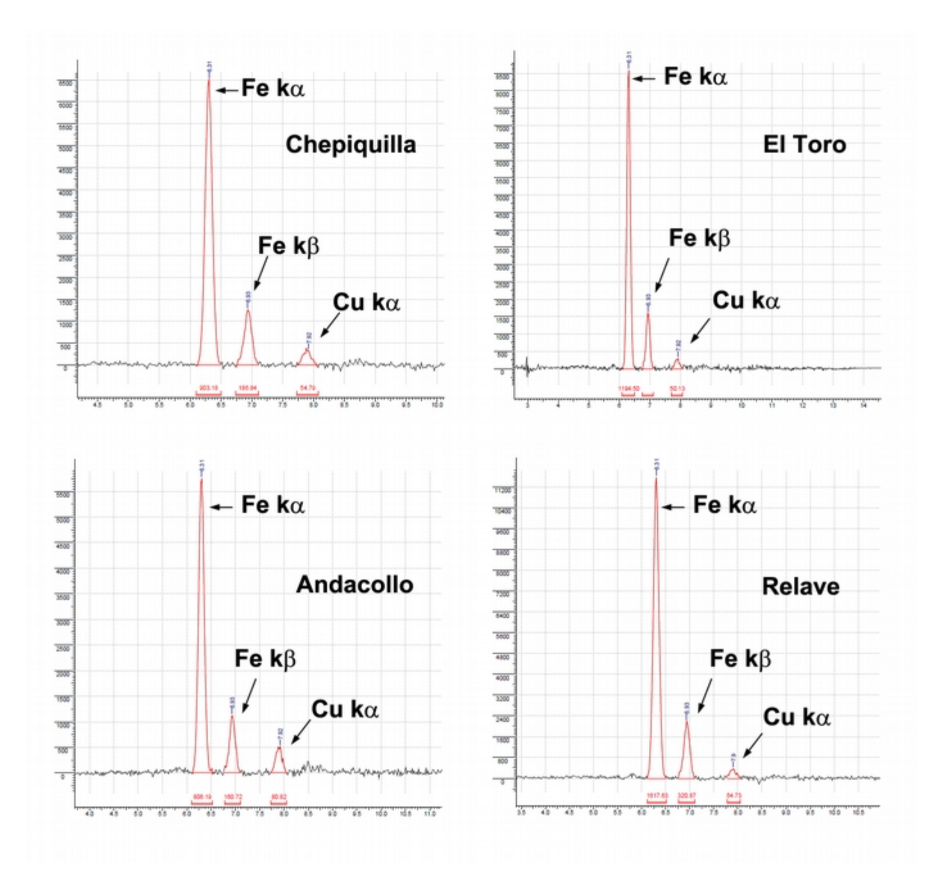


Figura 5. Espectros de FRx de las muestras luego de la sustracción del blanco. Se muestran los espectros de las muestras Chepiquilla, Andacollo, El Toro y Relave. Es posible observar tres señales correspondientes a Fe y Cu presente en las muestras.

El hierro es un elemento muy común en las muestras de suelo y polvo, siendo muchas veces el elemento metálico mayoritario. En este caso ocurre lo mismo. Sin embargo, la presencia de cobre resulta más preocupante. Si se comparan las señales del Cu con las del Fe, es posible observar que las muestras pertenecientes a Andacollo son las que presentan mayor cantidad de cobre respecto de las muestras tomadas en El Toro y Chepiquilla, mostrando incluso mayor concentración que la muestra de relave. De todos modos es necesario utilizar un método cuantitativo para corroborar o descartar esta observación. No se observaron otras señales de tamaño significativo que indiquen la presencia de metales distintos al Fe y Cu, sin embargo, dada la poca sensibilidad de la técnica, no es posible descartar su presencia en concentraciones traza.

Resultados análisis de absorción atómica

El uso de espectroscopía de absorción atómica nos permite cuantificar con un alto grado de precisión y sensibilidad la presencia de determinados elementos metálicos. En este caso se decidió analizar tres metales: el cobre (Cu), el plomo (Pb) y el cadmio (Cd). Los resultados del análisis confirman la presencia de cobre en todas las muestras, como aparece en la Tabla 2 y Tabla 3. Se observa además que, en concordancia con el resultado anterior, las muestras tomadas en la ciudad de Andacollo presentan mayor cantidad de cobre, siendo tres veces mayor a la cantidad de cobre presente en las muestras de la localidades de EL Toro y Chepiquilla.

Muestra	Cobre mg/Kg	Plomo mg/Kg	Cadmio mg/Kg
Andacollo 1	1298,44	37,18	1,98*
Andacollo 2	1730,08	55,22	2,2*
Andacollo 3	1566,18	76,56	3,08*
El Toro 1	649,44	99	19,8*
El Toro 2	542,08	28,16	1,76*
El Toro 3	482,79	11,66	1,76*
Chepiquilla 1	732,82	79,2	0,88*
Chepiquilla 2	459,8	27,06	1,54*
Chepiquilla 3	275,88	6,38*	1,98*

Tabla 2. Concentración de cobre, plomo y cadmio presente en las muestras tomadas en las localidades de Andacollo centro, El Toro y Chepiquilla. El simblo (*) indica valores bajo el límite de cuantificación.

	Promedio Cu mg/Kg	Desviación Estandar	Promedio Pb mg/Kg	Desviación Estandar	Promedio Cd mg/Kg	Desviación Estandar
Andacollo	1531,57	217,89	56,32	19,71	2,42	0,58
El Toro	558,1	84,47	46,27	46,4	7,77	10,42
Chepiquilla	489,5	229,91	37,55	37,52	1,47	0,55

Tabla 3. Concentraciones promedio de cobre, plomo y cadmio presente en las muestras tomadas en las localidades de Andacollo centro, El Toro y Chepiquilla.

Por otro lado, todas las muestras presentaron menores concentraciones de plomo y aún mucho menores de cadmio (Tablas 2 y 3). Sin embargo, es posible observar que entre las muestras, las que presentaban mayor cantidad de plomo y cadmio son los dos hogares donde algún familiar trabajaba directamente en la minería artesanal; El Toro 1 y Chepiquilla 1 (Tabla 2). Descartando ese factor, las muestras de Andacollo aparecen consistentemente con valores mayores de ambos metales. De todos modos la sensibilidad de la técnica en el caso del plomo y mayormente del cadmio, impide realizar buenas estimaciones en cantidades traza, haciéndose necesario profundizar el estudio, aumentando la sensibilidad de la técnica y el número de muestras.

Si contrastamos los resultados obtenidos con la información que aparece en literatura, podemos ver que la cantidad de cobre presente en las muestras de polvo domiciliario de Andacollo (1531.57 mg/Kg) es sustancialmente mayor a la que se informa para otras ciudades del mundo como Estambul en Turquía (159 mg/Kg) y Kwun Tong en China (806 mg/Kg) (Kurt-Karakus, 2012). Estos valores solamente se asemejan a la situación que ocurre en la localidad de Ventanas en Chile donde es posible encontrar concentraciones de 3096 mg/Kg en las zonas muy cercanas a una fundición de cobre (Berasaluce et al., 2019). En cuanto al plomo y el cadmio, los valores son más moderados, pero de todos modos se encuentran por encima de los valores promedio para la corteza terrestre (Pb = 14 mg/Kg y Cd = 0.2 mg/Kg) (Kurt-Karakus, 2012) y se asemejan bastante a lo reportado en la localidad de Ventanas Chile.

Resultado análisis espectrospcopía vibracional

El análisis de espectroscopía vibracional permite tener una idea general de la composición química de la muestra ya que ésta revela la presencia de

determinados enlaces y grupos químicos. Para el caso de estudio resulta interesante detectar la presencia de grupos químicos como los nitritos (NO2) y nitratos (NO3) ya que pueden estar asociados a los restos de explosivo utilizado en las tronaduras de la faenas mineras aledañas, lo cual nos podría dar luces del origen del polvo. En la figura 6 y tabla 4 se muestran los resultados de los análisis de espectroscopia vibracional en el infrarrojo (IR), que presentan varias señales, las cuales se resumen en la Tabla 4. Dada la naturaleza de las muestras es posible observar la presencia de altas cantidades de silicato (Si-O de 1100 a 900 cm^{-1}) y grupos hidroxilo provenientes del propio mineral (O-H de 3700 a 3550 cm^{-1}). Además es posible observar la presencia de materia orgánica la que es revelada por la presencia de enlaces C-H de los grupos CH3 y CH2 (2950 a 2850 cm^{-1}) y las bandas amida I, II y III (3400, 1650 y 1550 cm^{-1}). Estas señales son comunes a todas las muestras y dan cuenta de su calidad de polvo domiciliario.

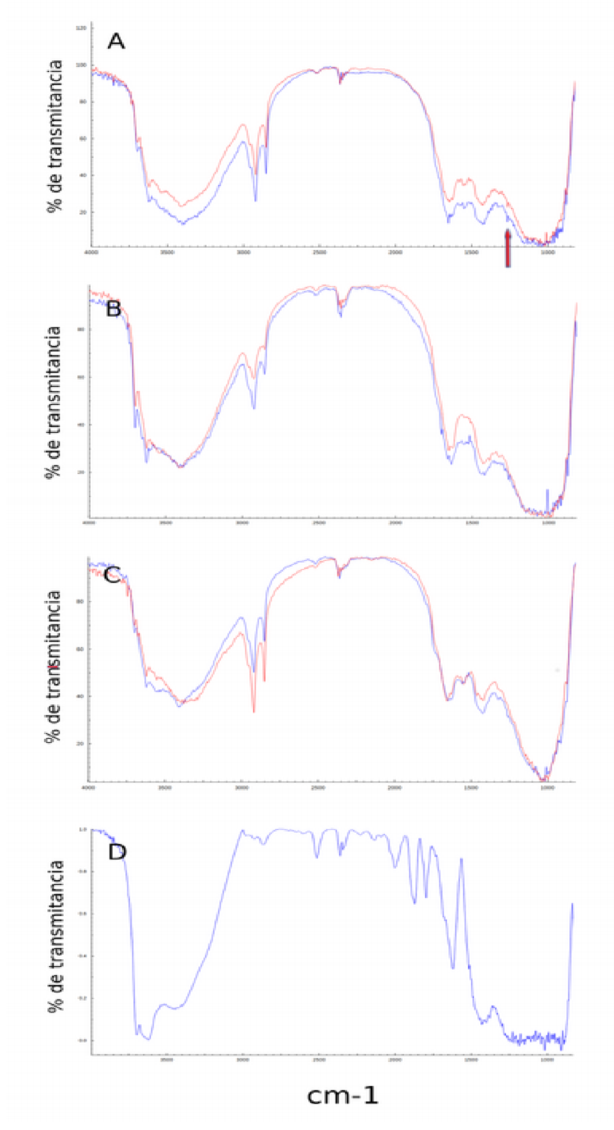


Figura 6. Espectros de transmitancia en el infrarojo (IR) provenientes de las muestras A) Andacollo, B) El Toro y C) Chepiquilla. D) Relave de la minería artesanal. Se indica la banda correspondiente al nitrito (NO2) mediante una flecha roja. Se muestran dos espectros representativos de cada localidad

	Localidad			
N.º	Andacollo	EL Toro	Chepiquilla	Asignación
1	3697 cm^{-1}	3701 cm^{-1}	3701 cm^{-1}	O-H
2	3618 cm^{-1}	3623 cm^{-1}	3623 cm^{-1}	O-H
3	3531 cm^{-1}	3545 cm^{-1}	3552 cm^{-1}	O-H
4	3401 cm^{-1}	3402 cm^{-1}	3402 cm^{-1}	N-H (NH3)
5	3300 cm^{-1}	-	-	N-H
6	2947 cm^{-1}	2954 cm^{-1}	2954 cm^{-1}	CH3
7	2918 cm^{-1}	2926 cm^{-1}	2918 cm^{-1}	CH3
8	2853 cm^{-1}	2854 cm^{-1}	2854 cm^{-1}	CH2
9	2528 cm^{-1}	2520 cm^{-1}		C-O (CO3)
10	2514 cm^{-1}	2513 cm^{-1}	2513 cm^{-1}	N-H
11	1655 cm^{-1}	1638 cm^{-1}	1652 cm^{-1}	N-H (NH2)
12	1547 cm^{-1}	1547 cm^{-1}	1545 cm^{-1}	N-H (NH3)
13	-	-	1467 cm^{-1}	C=C (Aromático)
14	1424 cm^{-1}	1431 cm^{-1}	1429 cm^{-1}	N=N o C-O
15	1323 cm^{-1}	1325 cm^{-1}	1325 cm^{-1}	N-H
16	**1266** cm^{-1}	**-**	**-**	**N-O (NO2)**
17	1114 cm^{-1}	1133 cm^{-1}	-	Si-O / S-O
18	1035 cm^{-1}	-	1033 cm^{-1}	Si-O

Tabla 4. Concentración de cobre, plomo y cadmio presente en las muestras tomadas en las localidades de Andacollo centro, El Toro y Chepiquilla. El símbolo (*) indica valores bajo el límite de cuantificación.

Si comparamos los espectros de polvo domiciliario veremos que todos son muy parecidos entre si y que son muy pocas las señales distintivas de un espectro en particular. De estas señales resalta una banda que aparece solo en las muestras de la localidad Andacollo a 1266 cm-1 (indicada con una flecha en la figura 6A), la cual puede ser asignada al enlace N-O del nitrito (NO2). La presencia de este compuesto puede estar asociada a los explosivos utilizados en la faena minera ubicada a escasas centenas de metros de la localidad, dada la ausencia de cultivos agrícolas en las inmediaciones que pudiesen aportar con estos compuestos.

Probablemente el nitrito queda adsorbido en las partículas de polvo que son dispersadas durante las tronaduras, las cuales son llevadas por el viento y depositadas sobre la ciudad de Andacollo. Esto concuerda muy bien con los resultados del análisis de los datos de material particulado PM10 realizado en

Andacollo durante el mismo período de tiempo por nuestro equipo de investigación (Pouchucq 2018). Es posible además encontrar informes donde se indica que en Andacollo predominan los vientos procedentes del sur (S) y norweste (NW) (INFORME N° 04 "PROGRAMA DE MONITOREO AMBIENTAL 2013 COMPAÑÍA MINERA TECK CARMEN DE ANDACOLLO MONITOREO CALIDAD DEL AIRE Y METEOROLOGÍA") y que dada la situación geográfica de la faena minera respecto de la cuidad de Andacollo, llevan material desde la faena hasta la zona poblada, depositándose gradualmente en los hogares.

Por último, si bien el presente es un análisis realizado con altos estándares metodológicos, es muy acotado en el número de muestras y la representatividad poblacional que estas tienen. Dado esto, se hace muy necesario extender estos estudios para determinar con precisión el grado de exposición que esta sufriendo la población a estos metales y posiblemente a los nitritos y nitratos, ya que en presencia de grupos amina y condiciones de alta radiación solar pueden generar compuestos de nitrosaminas, los cuales son altamente peligrosos para la salud. Para extender este estudio es necesario utilizar técnicas de detección más sensibles para el caso de los metales y técnicas cuantitativas para el caso de los compuestos nitrogenados. Y por otro lado, es menester aumentar el número de muestras y los elementos analizados, mejorando su representatividad poblacional.

Conclusiones

- En el polvo domiciliario de hogares de la localidad de Andacollo aparecen cantidades alarmantes de cobre (cerca de 1500 ppm). El cobre también está presente en las localidades de El Toro y Chepiquilla, pero en menores concentraciones.

- Este cobre en el polvo domiciliario de hogares de la ciudad de Andacollo esta asociado a la presencia de nitritos que podrían dar cuenta de su origen en las faenas mineras próximas, ya que corresponde a un residuo de los explosivos utilizados en las tronaduras.

- En las muestras de polvo domiciliario aparecen en menores cantidades otros metales potencialmente peligrosos como el plomo.

Recomendaciones

Dado que, contrario a lo que se podría pensar, la contaminación es mayor dentro de los hogares que fuera de ellos, se hace tremendamente necesario promover medidas higiénicas entre la población, como las siguientes:

1) Evitar barrer el piso, preferir el uso de aspiradora, cuidando no tomar contacto con el polvo al momento de vaciarla.

2) Evitar cualquier acumulación de polvo dentro de la casa, mediante limpiezas profundas y periódicas.

3) Adquirir dispositivos purificadores de aire comerciales.

4) Estas medidas deben ser aplicadas especialmente cuando los hogares tienen la presencia de lactantes, niños y ancianos.

Agradecimientos

Agradecemos a la ONG CODECIAM y el CMA de Andacollo por toda la logística entregada y los contactos necesarios para la toma de muestra. Agradecemos también al PCEDETEMA del Centro de TTyV de la Facultad de Ciencias Naturales, Matemática y Medio Ambiente de la Universidad Tecnológica Metropolitana por su apoyo en las mediciones de absorción atómica. Y al LIATAN (laboratorio de investigaciones aplicadas con tecnologías atómicas y nucleares) de la Universidad Tecnológica Metropolitana por su apoyo en las mediciones de flurescencia de rayos x.

Bibliografía

Berasaluce, M., Mondaca, P., Schuhmacher, M., Bravo, M., Sauvé, S., Navarro-Villarroel, C., … Neaman, A. (2019). Soil and indoor dust as environmental media of human exposure to As, Cd, Cu, and Pb near a copper smelter in central Chile. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, *54*(October 2018), 156–162. https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2019.04.006

Kurt-Karakus, P. B. (2012). Determination of heavy metals in indoor dust from Istanbul, Turkey: Estimation of the health risk. *Environment International*, *50*, 47–55. https://doi.org/10.1016/j.envint.2012.09.011

Paredes F., Lara K. (2018) Estudio de Percepción: De los actores claves de la comuna de Andacollo con respecto al Plan de Descontaminación Atmosférica (PDA). https://archive.org/details/InformePercepcionPDACODECIAM2018

Pouchucq L., Riquelme N., Fuenzalida D., Godoy C., Valdés C. (2017) ANDACOLLO DESDE ADENTRO. Historia, percepción, impacto y riesgos en un conflicto socio-ambiental profundo. Ed CODECIAM. https://archive.org/details/ANDACOLLODESDEADENTRO

Pouchucq L. (2018) Informe de análisis de la evolución de los datos de material particulado PM 10 registrados por estaciones de monitoreo de la ciudad de Andacollo en el marco del Plan de Descontaminación (PDA). PBVAA – Dpto. de Biotecnología, Universidad Tecnológica Metropolitana. https://archive.org/details/InformeDeAnlisisDeEvolucinDeLosDatosDeMaterialParticuladoPM10PDA